饲粮中添加籽粒苋对泌乳奶牛瘤胃发酵、血液指标和生产性能的影响

孙国庆[1,2] 马　健[1*] 都　文[2] 王雅晶[2] 曹志军[2] 李胜利[2**] 余　雄[1**] 王　宇[3] 雷小英[4] 马亚宾[5]

（1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业大学动物科技学院，北京 100193；3.中扶惠邦牧业股份有限公司，北京 102200；4.河北晋州市周家庄农牧业有限公司，石家庄 052262；5.河北省畜牧良种工作站，石家庄 050061）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加籽粒苋青贮和干草对泌乳奶牛瘤胃发酵、营养物质表观消化率、血液指标和生产性能的影响。选取产奶量、胎次和泌乳天数等相近的健康荷斯坦奶牛 45 头，随机分成 3 组，每组 15 头牛。对照组粗饲料包括全株玉米青贮、羊草和苜蓿干草，试验Ⅰ组粗饲料使用籽粒苋青贮替代 30%玉米青贮，试验Ⅱ组粗饲料使用籽粒苋干草替代 30%苜蓿干草。3 组饲粮营养水平接近。预试期 10 d，正试期 60 d。结果表明：1）与对照组相比，试验Ⅰ组能显著提高粗蛋白质（CP）表观消化率、瘤胃液氨态氮（NH_3-N）和血液总氨基酸（T-AA）的含量（P<0.05），对其他营养物质表观消化率、血液指标和乳成分影响不显著（P>0.05）。2）与对照组相比，试验Ⅱ组的血液 T-AA 含量显著高于对照组（P<0.05），对其他血液指标、瘤胃发酵指标、营养物质表观消化率和乳成分均无显著影响（P>0.05）。综上所述，饲粮中添加适量的籽粒苋不会影响奶牛的生产性能，同时会提高牧场经济效益。

关键词：籽粒苋；荷斯坦奶牛；瘤胃发酵；血液指标；生产性能

中图分类号：S823

籽粒苋（*Amaranthus hypochondriacus* L.）属于苋科苋属，一年生草本植物，起源于中南美洲及东南亚地区，俗名蛋白草或千穗谷，具有高产、优质、抗逆性强和生长速度快等特性，是一种粮食和饲料兼用作物。在我国北方，籽实期收割的籽粒苋产量可达 130 t/hm²，远高于玉米青贮的 60 t/hm²。籽实期干草产量可达 20 t/hm²，远高于苜蓿干草的 7.5 t/hm²。籽粒苋在全国许多地方均表现出优良的性能，茎叶适时收割可达到蛋白质饲料的标准。籽粒

收稿日期：2016-11-15

基金项目：现代农业（奶牛）产业技术体系建设专项资金（CARS-37）

作者简介：孙国庆（1991—），男，新疆伊宁人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: jackjeons123@163.com

*同等贡献作者

**通信作者：李胜利，教授，博士生导师，E-mail: lisheng0677@163.com；余　雄，教授，博士生导师，E-mail: yuxiong8763601@126.com

苋鲜茎叶可制作青饲料、青贮饲料和叶粉饲料，用于饲喂猪、牛、兔和鸡等效果均好，其种子收获后，剩余的鲜绿老熟秸秆和穗轴也是畜禽的好饲料，可以青贮和制粉，是草食家畜和禽类的上等饲料，营养和口感优于玉米秸秆。

随着我国奶牛养殖规模化的持续推进和对原奶质量的严格把控，牧场对优质粗饲料的依赖程度越来越高，籽粒苋作为一种新型饲料作物，具有产量高和营养价值高等优势。在饲粮中添加籽粒苋作为一种新的饲喂模式，可以作为牧场节本增效的一种新的尝试。目前全株玉米青贮是我国奶牛最主要的青贮饲料来源，然而相对于籽粒苋等优质青贮，蛋白质含量相对较低。Rezaei 等[1]指出用不同比例的籽粒苋青贮替代玉米青贮不会影响奶牛的生产性能，并且可以作为一种优质饲料应用于奶牛饲粮。苜蓿干草是世界上最重要的豆科牧草，富含蛋白质、多种维生素和矿物质，是饲喂奶牛的最佳粗饲料之一。刘洋等[2]用一定量的杞柳条生皮和熟皮替代苜蓿干草，发现对奶牛产奶量无显著影响，还降低了生产成本。目前国内关于籽粒苋作为粗饲料在奶牛上应用的研究报道很少。因此本试验旨在研究奶牛饲粮中添加籽粒苋青贮和干草对奶牛瘤胃发酵、营养物质表观消化率、血液指标和生产性能的影响，探索籽粒苋对牧场经济效益的影响，为籽粒苋在奶牛养殖中的利用和推广提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

籽粒苋青贮：收获籽实期的籽粒苋鲜草，整株切碎至 3 cm 左右，打捆封入青贮袋内，密封保存。

籽粒苋干草：收获籽实期籽粒苋干草，整株切碎至 3 cm 左右，机器烘干。

全株玉米青贮：收获 2/3 乳线期的全株玉米，整株切碎至 1.5 cm 左右，在青贮窖制作青贮。

苜蓿干草：由试验牧场提供，购自河北省黄骅市。

1.2 试验设计与饲养管理

选取泌乳天数、产奶量、胎次和乳成分等相近的的荷斯坦奶牛 45 头，随机分为 3 组，每组 15 头。对照组饲喂不添加籽粒苋的基础饲粮，试验I组使用籽粒苋青贮代替 30%全株玉米青贮，试验II组使用籽粒苋干草代替 30%苜蓿干草。试验牛为散栏式饲养，以全混合日粮形式饲喂，自由采食和饮水，日挤奶 2 次（06:00、18:00）。试验期间各组饲养方式、管理模

式及环境条件一致。试验期 70 d，其中预试期 10 d，正试期 60 d。

1.3 试验饲粮

试验饲粮按照等能等氮原则，根据添加青贮和干草的不同，配制 3 种饲粮。试验饲粮组成及营养营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets （DM basis） %

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group Ⅰ	试验 II 组 Trial group Ⅱ
原料 Ingredients			
羊草 Chinese wildrye	7.57	7.58	7.57
苜蓿干草 Alfalfa hay	11.24	11.25	7.85
籽粒苋干草 *Amaranthus hypochondriacus* L. hay			3.38
全棉籽 Whole cottonseed	5.70	5.71	5.70
大豆皮 Soybean hull	5.42	5.42	4.35
甜菜颗粒 Beet grain	3.79	3.79	3.78
啤酒糟 Brewers dried grain	5.62	5.62	6.76
全株玉米青贮 Whole corn silage	29.52	20.66	29.50
籽粒苋青贮 *Amaranthus hypochondriacus* L. silage		8.80	
玉米 Corn	15.23	15.24	15.22
菜籽粕 Rapeseed meal	3.18	3.19	3.18
豆粕 Soybean meal	4.31	4.32	4.31
干酒糟及其可溶物 DDGS	3.13	3.13	3.12
葵籽粕 Sunflowerseed meal	1.87	1.87	1.87
预混料 Premix[1)]	1.71	1.71	1.71
小苏打 $NaHCO_3$	0.51	0.51	0.51
酵母粉 Yeast powder	0.34	0.34	0.34
棕榈油脂肪酸钙 Calcium salt of palm fatty acid	0.69	0.69	0.68
氧化镁 Magnesium oxide	0.17	0.17	0.17
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
产奶净能 NE_L/(MJ/kg)	7.14	7.12	7.13
粗蛋白质 CP	16.70	16.63	16.45
中性洗涤纤维 NDF	37.57	37.75	37.86
酸性洗涤纤维 ADF	24.66	25.20	24.75
钙 Ca	0.89	0.89	0.87
磷 P	0.48	0.48	0.45
总氨基酸 T-AA	43.15	45.84	44.94

[1)]每千克预混料含有 One kilogram of premix contains the following：VA 320 000 IU，VD_3 74 000 IU，VE 3 000 IU，*D*-生物素 *D*-biotin 3 000 mg，烟酰胺 niacinamide 2 000 mg，β-胡萝卜素 β-carotin 120 mg，Cu

680 mg，Mn 1 800 mg，Zn 3 000 mg，Se 20 mg，I 40 mg，Co 24 mg。

2）产奶净能为计算值，其余营养水平为实测值。NE_L is a calculated value, while other nutrient levels are measured values.

1.4 样品采集及处理

1.4.1 干物质采食量（DMI）的测定及饲粮样品的采集与分析

在正试期每 15 d 连续 3 d 测定采食量，记录每头牛每天的投料量和剩料量，每天采集投喂饲粮和剩料，测定干物质（DM）含量，计算出每组牛的 DMI。每 15 d 采集 1 次饲料样品，按 4 分法收集饲粮样、剩料样及各种饲料原料样，65 ℃烘箱中烘干制成风干样，粉碎后保存待测，参照张丽英[3]所述方法进行常规营养成分分析。

1.4.2 瘤胃液的采集与分析

试验正试期的最后 2 d，每组选取 5 头分别在晨饲前（0 h）和晨饲后 2、4、6 和 8 h 各采集瘤胃液 100 mL，4 层纱布过滤后，立即用 pH 计测定 pH。3 000 r/min 离心 15 min 后取上清液，用比色法[4]在紫外分光度计上测定氨态氮（NH_3-N）含量。另取瘤胃滤液-20 ℃保存待测，用气相色谱法[5]测定挥发性脂肪酸（VFA）含量。

1.4.3 粪样的采集与分析

试验期最后 3 d，采用直肠取粪法连续采集粪样，每次采集 300～500 g，混合每头牛 3 d 收集的粪样，混匀，称重，取粪重的 1%，然后每 100 g 鲜粪加 10%酒石酸，防止粪中氨氮损失，65 ℃烘干回潮，粉碎后保存用于营养常规成分测定[3]。用粪和饲料中的酸不溶灰分（AIA）做指示剂计算表观消化率，计算公式参照 Zhong 等[6]描述的方法，公式如下：

$$表观消化率(\%)=[1-(Ad\times Nf)/(Af\times Nd)]\times 100。$$

式中：Ad 和 Af 分别为饲粮和粪中的 AIA 含量（g/kg）；Nd 和 Nf 分别为饲粮和粪中对应的某营养成分含量（g/kg）。

1.4.4 血清的采集与分析

每组随机选 5 头牛，于试验正试期第 0、15、30、45 和 60 天，晨饲后用真空采血管进行尾静脉采血 10 mL，将采集的血样静置 60 min 后，3 200 r/min 离心 15 min，分离血清，将血清用移液枪装到 4 个 1.5 mL 离心管中，-20 ℃保存待测。测定的血液指标如下：总胆固醇（TCHO）、甘油三酯（TG）、葡萄糖（GLU）、尿素氮（UN）、β-羟基丁酸（BHBA）、

总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、非酯化脂肪酸（NEFA）、总氨基酸（T-AA）、胰岛素（INS）、胰岛素样生长因子 1（IGF-1）、催乳素（RPL）、生长激素（GH）和糖皮质激素（COR）含量。

1.4.5　奶样的采集与分析

正试期每天记录奶牛产奶量，每隔 15 d 采集 1 次奶样，按早、晚 6:4 混合奶样，取 40 mL 加重铬酸钾防腐剂混合均匀，用于乳成分分析，测定指标如下：乳蛋白率、乳脂率、乳糖率、乳体细胞数和乳尿素氮含量。

1.4.6　饲料转化率

饲料转化率计算公式如下：

$$饲料转化率=产奶量/DMI。$$

1.5　统计分析

试验数据用 Excel 2007 进行数据整理，用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法，以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准，结果以平均值±标准差表示。

2　结果与分析

2.1　籽粒苋青贮和干草的营养成分

在饲喂前对不同粗饲料营养成分进行分析，结果见表 2。籽粒苋青贮的 CP 含量比全株玉米青贮提高了 18.00%，中性洗涤不溶性蛋白质（NDICP）、NDF 和 ADF 含量高于全株玉米青贮，DM 含量低于全株玉米青贮；籽粒苋干草 NDICP 含量高于苜蓿干草，CP 含量低于苜蓿干草。

表 2　籽粒苋青贮、全株玉米青贮和籽粒苋干草、苜蓿干草的营养成分（干物质基础）

Table 2　Nutrient components of *Amaranthus hypochondriacus* L. silage, whole corn silage, *Amaranthus hypochondriacus* L. hay and alfalfa hay （DM basis）　%

项目 Items	籽粒苋青贮 *Amaranthus hypochondriacus* L. silage	全株玉米青贮 Whole corn silage	籽粒苋干草 *Amaranthus hypochondriacus* L. hay	苜蓿干草 Alfalfa hay
干物质 DM	21.60	27.00	92.16	92.09
粗蛋白质 CP	10.03	8.50	10.13	18.14
中性洗涤纤维 NDF	48.58	45.01	55.02	46.50
酸性洗涤纤维 ADF	30.52	24.57	40.86	35.14
粗灰分 Ash	13.73	4.74	14.91	10.98
中性洗涤不溶性蛋白质 NDICP	5.98	2.17	5.95	2.92
酸性洗涤不溶性蛋白质 ADICP	1.45	1.21	1.68	1.42

2.2 饲粮中添加籽粒苋对瘤胃发酵的影响

由表 3 可知，奶牛瘤胃液 pH 各组间差异不显著（P>0.05）。试验Ⅰ组瘤胃液 NH_3-N 含量显著高于对照组（P<0.05），与试验Ⅱ组差异不显著（P>0.05）。3 组间总 VFA、乙酸、丙酸、丁酸、戊酸、异丁酸和异戊酸含量无显著差异（P>0.05）。

表 3　不同粗饲料组合对奶牛瘤胃发酵的影响

Table 3　Effects of different combinations of roughages on ruminal fermentation of dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	P 值 P-value
pH	6.70±0.14	6.72±0.09	6.63±0.10	0.475
氨态氮 NH_3-N/(mg/mL)	8.74±1.33[b]	10.88±1.29[a]	10.22±0.98[ab]	0.036
乙酸 Acetate/(mmol/L)	53.58±5.02	57.72±2.48	56.70±5.12	0.376
丙酸 Propionate/(mmol/L)	19.39±2.33	19.09±2.78	19.02±3.42	0.977
丁酸 Butyrate/(mmol/L)	9.30±1.89	9.45±0.77	10.14±1.83	0.676
异丁酸 Isobutyrate/(mmol/L)	1.81±0.25	1.71±0.18	1.85±0.38	0.716
戊酸 Valerate/(mmol/L)	1.13±0.22	1.31±0.36	1.17±1.51	0.511
异戊酸 Isovalerate/(mmol/L)	1.79±0.34	1.85±0.16	1.85±0.43	0.942
总挥发性脂肪酸 Total VFA/(mmol/L)	87.15±8.98	90.99±1.16	90.73±9.65	0.683
乙酸/丙酸 Acetate/propionate	2.78±0.25	3.07±0.49	3.03±0.40	0.479

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

2.3 饲粮中添加籽粒苋对营养物质表观消化率的影响

由表 4 可知，试验Ⅰ组 CP 表观消化率显著高于试验Ⅱ组和对照组（P<0.05）。各组间 DM、NDF 和 ADF 的表观消化率差异均不显著（P>0.05），从数值上看，试验I组各项指标均高于其他 2 组。

表 4　不同粗饲料组合对营养成分表观消化率的影响（干物质基础）

Table 4　Effects of different combination of roughage on apparent digestibility of nutrients （DM basis）　%

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	P 值 P-value
干物质 DM	58.07±7.49	61.55±1.81	56.86±6.07	0.423
中性洗涤纤维 NDF	45.84±8.09	51.68±1.10	45.88±8.92	0.347
酸性洗涤纤维 ADF	44.44±9.89	49.48±3.17	42.47±6.00	0.293
粗蛋白质 CP	60.56±6.75[b]	69.54±1.70[a]	60.87±5.56[b]	0.028

2.4 饲粮中添加籽粒苋对奶牛血液指标的影响

由表 5 可知，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的血液 T-AA 含量显著高于对照组（*P*<0.05），其余各项血液指标并未受饲粮组成影响（*P*>0.05）。试验Ⅱ组血液 RPL 和 GH 含量略高于另外 2 组，试验Ⅰ组血液 UN 和 COR 含量略高于另外 2 组，对照组血液 TP 和 NEFA 含量略高于试验组，但差异均不显著（*P*>0.05）。

表 5 不同粗饲料组合对奶牛血液指标的影响

Table 5 Effects of different combinations of roughages on blood indexes of dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
总胆固醇 TC/(mmol/L)	4.46±0.76	4.61±1.08	4.45±1.23	0.875
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.32±0.23	0.31±0.21	0.32±0.23	0.152
葡萄糖 Glu/(mmol/L)	3.23±0.37	3.05±0.32	3.24±0.25	0.109
尿素氮 UN/(mmol/L)	3.74±0.36	3.77±0.34	3.70±0.44	0.830
B-羟基丁酸 BHBA/(mmol/L)	0.51±0.12	0.50±0.88	0.54±0.14	0.507
总蛋白 TP/(g/L)	71.82±9.30	68.48±8.26	70.85±7.71	0.447
白蛋白 ALP/(g/L)	24.23±2.37	24.34±2.43	24.67±2.28	0.829
非酯化脂肪酸 NEFA/(μmol/L)	663.07±251.38	659.91±210.68	594.52±182.96	0.421
总氨基酸 T-AA/(μmol/L)	6.92±1.69^{b}	8.11±2.18^{a}	8.36±2.12^{a}	0.031
胰岛素 Insulin/(μIU/mL)	13.39±6.39	12.33±5.23	13.41±5.29	0.789
胰岛素样生长因子 1 IGF-1/(ng/mL)	237.89±65.91	240.93±90.93	267.91±63.09	0.379
催乳素 PRL/(ng/mL)	0.58±0.30	0.57±0.27	0.64±0.20	0.574
生长激素 GH/(ng/mL)	5.15±0.63	5.12±0.76	5.33±1.02	0.587
糖皮质激素 COR/(ng/mL)	5.97±1.53	6.27±1.66	6.06±1.80	0.814

2.5 饲粮中添加籽粒苋对生产性能的影响

由表 6 可知，3 组间 DMI、产奶量、乳尿素氮含量和饲料转化率差异不显著（*P*>0.05）。试验Ⅰ组乳体细胞数低于其余 2 组，但差异不显著（*P*>0.05），其他乳成分含量各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 6 不同粗饲料组合对奶牛 DMI、饲料转化率、产奶量和乳成分的影响

Table 6 Effects of different combinations of roughages on DMI, feed efficiency, milk yield and milk composition of dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
干物质采食量 DMI/(kg/d)	22.45±1.14	23.06±1.03	22.83±0.67	0.332
产奶量 Milk yield/(kg/d)	34.20±2.98	34.94±3.52	34.71±3.41	0.856
饲料转化率 Feed efficiency	1.53±0.97	1.55±0.18	1.53±0.14	0.703

乳脂率 Milk fat percentage/%	3.62±0.53	3.66±0.40	3.86±0.58	0.401
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.13±0.16	3.16±0.17	3.15±0.19	0.889
乳糖率 Milk lactose percentage/%	5.05±0.15	5.05±0.10	5.00±0.15	0.456
乳尿素氮 Urea nitrogen/(mg/mL)	10.13±1.19	10.69±1.71	10.58±1.58	0.562
乳体细胞数 SCC/(10^4 个/mL)	11.66±9.24	7.53±5.95	10.29±7.86	0.342

2.6 饲粮中添加籽粒苋对牧场经济效益的影响

籽实期籽粒苋鲜草年产量可达 130 t/hm^2，干草产量在 24 t/hm^2，远高于玉米秸秆、苜蓿和羊草的产量。由表 7 可知，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组每头牛每天分别能多盈利 2.70 和 2.31 元，说明在奶牛粗饲料中添加籽粒苋可以提高牧场经济效益。

表 7 不同粗饲料组合对牧场经济效益的影响

Table 7 Effects of different combinations of roughages on economic effectiveness of farms 元

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ
饲料成本 Feed cost	54.13	54.24	53.73
牛奶收入 Milk income	130	132.77	131.90
经济效益 Economic effectiveness	75.83	78.53	78.17

3 讨 论

3.1 饲粮中添加籽粒苋对瘤胃发酵的影响

瘤胃液 pH 是食糜中 VFA 与唾液中缓冲盐相互作用、瘤胃上皮对 VFA 吸收以及随食糜流出等因素综合作用的结果，瘤胃液 pH 的正常范围为 6～7[7]。在本试验 3 种不同饲粮环境下，奶牛瘤胃液 pH 均在正常范围内，差异不显著，这有利于维持瘤胃内纤维分解菌的活性。Mertens[8]试验结果显示，饲粮的颗粒大小与瘤胃液 pH 呈负相关。本试验中籽粒苋干草 NDF 含量高于苜蓿干草，可能与 NDF 含量有关。

瘤胃液 NH_3-N 是饲料蛋白质、非蛋白氮降解和微生物蛋白合成的中间产物，其含量可反映蛋白质降解与合成的平衡状态，主要受饲料蛋白质降解、瘤胃壁的吸收、微生物的利用和瘤胃食糜外流速率的影响[7]。试验Ⅰ组显著高组于对照组，这可能跟籽粒苋青贮 NDF 含量高于全株玉米青贮有关，采食进入瘤胃的饲料经过多次反刍，在瘤胃内滞留时间增加，消化更为充分，从而导致 NH_3-N 含量相对较高。另外随着饲粮颗粒的减小与瘤胃微生物结合作用增强，瘤胃内 NH_3-N 含量也相对降低，本试验中，籽粒苋青贮切割长度大于全株玉米青贮，这与邬彩霞等[9]研究结果一致。

瘤胃中 VFA 是反刍动物能量利用过程中的中间代谢产物，也是乳脂肪和体脂肪合成的

原料，乙酸、丙酸和丁酸大约占总 VFA 的 95%[7]。Beauchemin 等[10-11]研究发现 VFA 的生成量不受饲粮中 NDF 含量高低的影响，这与本试验结果一致。本试验中饲粮组成对乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、异戊酸含量影响不显著，国内外许多试验研究了饲粮组成对瘤胃中 VFA 与乙酸/丙酸的影响，但结果并不一致。李洋[12]研究表明，饲喂湿玉米纤维占总纤维比例的 15%时，瘤胃液丙酸含量显著升高，乙酸含量和乙酸/丙酸显著降低。杨宏波[13]研究表明，当精料比例达到饲粮的 65%时，乙酸/丙酸显著高于其他处理。Beauchemin 等[10-11]研究表明，随着饲粮物理有效中性洗涤纤维（peNDF）含量的降低，瘤胃液丙酸含量增加，丁酸含量下降，乙酸/丙酸降低。本试验中，试验 I 组和试验 II 组瘤胃液乙酸/丙酸高于对照组，这可能是由于籽粒苋 NDF 含量较高，瘤胃纤维分解菌活动增强。

3.2　饲粮中添加籽粒苋对营养物质表观消化率的影响

Brunette等[14]认为用狼尾草青贮替代一定比例的玉米青贮可以提高NDF和CP的表观消化率，并认为含量高且优质的CP有更高的消化率。本试验中，试验 I 组CP表观消化率高于对照组和试验 II 组，可能是因为籽粒苋青贮中含有更多的真蛋白质，更易被瘤胃所消化。周汉林等[15]试验表明，饲粮NDF含量对饲粮NDF和ADF的表观消化率有所影响，其变化趋势与本试验中结果一致。夏科等[16]研究指出，不同的粗饲料之间由于纤维和蛋白质含量的不同，会结合形成组合效应，从而提高表观消化率。本试验中，饲粮中加入籽粒苋，增加了粗饲料的利用率，提高了表观消化率。李亚奎等[17]试验显示，随着饲粮中苜蓿干草添加比例的提高，NDF表观消化率升高，这与本试验结果相似。

3.3　饲粮中添加籽粒苋对血液指标的影响

血液中 T-AA 通常可以促进乳蛋白的合成，且受饲粮 NDICP 含量的影响[18]。本试验中，试验组血液 T-AA 含量显著大于对照组，但乳蛋白率试验组仅在数值上略大于对照组，差异不显著，可能是因为受血液中 GLU 含量和乙酸盐含量的限制，增加了氨基酸转化为尿素所需的能量，从而降低了氨基酸的利用率。

TG 由甘油的 3 个羟基与 3 个脂肪酸缩合而成，在肝脏中以脂蛋白的形式输出，并且可以作为乳脂合成的前体以及被组织吸收利用。ALB 可以与 NEFA 再次酯化为 TG，在肝脏受损时，血液 TP 和 ALP 含量下降，血液中 NEFA 主要来自脂肪组织中 TG 的动员与脂解，其水平的高低通常可用作奶牛能量平衡状态的标志性指标[19]。BHBA 为 NEFA 酯化的中间代

谢产物，可以作为酮病的早期诊断指标[20]。史仁煌等[21]试验表明，随着饲粮中非纤维性碳水化合物含量降低，血液 BHBA 含量呈线性增加。本试验中，试验Ⅱ组血液 BHBA 含量略高于其余 2 组，可能是因为饲粮中 NDF 含量略高。UN 是蛋白质代谢的主要终末产物，是肾脏功能的主要指标之一。反刍动物体内 GLU 主要是通过瘤胃中丙酸吸收，进入肝脏后经糖异生途径合成[22]，代表机体对糖的吸收、转运和能量代谢的动态平衡状态，与 INS 含量呈正相关。本试验中也得到相似结论，但是试验Ⅱ组瘤胃液丙酸含量略低于另外 2 组，可能是受采食时间的影响。本试验结果表明，3 组血液中的 TG、NEFA、BHBA 和 GLU 含量差异均不显著，这是因为 3 组饲粮等能等氮，TP、ALP 和 UN 含量差异也不显著，说明饲料中添加籽粒苋没有对肝肾功能造成影响。

PRL 和 COR 是刺激乳腺细胞分化的主要激素，引起并维持泌乳，IGF-1 属于胰岛素的一类多肽，能够促进个体生长和细胞分化以及蛋白质合成和脂肪分解，与 GH 具有协同作用。文静等[23]试验表明，血液 GH 含量受饲粮营养成分影响，饲粮中的精氨酸和亮氨酸含量可能会对 GH 分泌有促进作用。本试验中，3 组血液 GH 含量差异不显著，试验Ⅱ组略高于另外 2 组，这可能跟籽粒苋干草中含有丰富的氨基酸有关，但需要进一步研究。COR 属类固醇类激素，受饲粮组成和环境的影响。韩英东等[24]试验表明，血液 COR 含量受泌乳阶段的影响且线性降低。Lepage 等[25]认为血液 COR 含量受饲粮中色氨酸含量的的影响。在本试验中，各试验组泌乳天数相近，试验Ⅱ组和试验Ⅰ组血液 COR 含量高于对照组，但差异不显著。

3.4 饲粮中添加籽粒苋对泌乳牛生产性能的影响

由于籽粒苋干草的 NDF 和 ADF 含量高于苜蓿干草，在奶牛饲粮中应用时通常会被认为会降低 DMI[26]，但本试验结果表明，试验组略高于对照组，马健等[27]在其试验中也得出相似结论。这可能是由于籽粒苋中的酸性洗涤不溶性蛋白质（ADICP）部分参与并发生美拉德反应，使饲料产生一种特殊的香味，提高动物的食欲[28]。本试验中籽粒苋干草和青贮的 ADICP 含量略高于苜蓿干草和全株玉米青贮，会对奶牛采食有一定的促进作用。Staples[19]认为产奶量和饲料转化率之间高度相关。本试验中，试验组产奶量略高于对照组，与各组的 DMI 和饲料转化率之间呈线性相关。

乳蛋白主要是乳腺细胞利用氨基酸、葡萄糖和乙酸盐合成的，而血液中的氨基酸主要来源于小肠中分解瘤胃未降解蛋白质（RUP）生成的小肽[18]。Wright[29]研究结果指出，增加

RUP 的供给可以提高血液中的氨基酸含量。NDICP 在瘤胃中降解缓慢，但能够被肠道分解并以肽和氨基酸的形式被吸收，是 RUP 的主要组分之一[30]。本试验中，试验组乳蛋白率略高于对照组，这可能与籽粒苋青贮和干草的 NDICP 含量高于全株玉米青贮和苜蓿干草有关。乳尿素氮含量的高低可以反映饲粮的蛋白质水平和能氮平衡，正常牛群的乳尿素氮含量在 10～14 mg/dL[31]。由于试验饲粮等能等氮，试验中各组乳尿素氮含量在 10.50 mg/dL 左右，均在正常范围内。本试验中各组乳体细胞数在 7×10^4～12×10^4 个/mL，均低欧盟（40×10^4 个/mL）和美国现行标准（75×10^4 个/mL）。

4 结 论

① 饲粮中添加籽粒苋青贮能显著提高瘤胃液 NH_3-N 和血液 T-AA 含量，并能显著提高 CP 表观消化率。

② 饲粮中添加籽粒苋干草能显著提高血液 T-AA 含量。

综上所述，在奶牛饲粮中添加籽粒苋，可以提高牧场经济效益，并且不会对奶牛健康和生产性能造成不良影响。

参考文献：

[1] REZAEI J,ROUZBEHAN Y,ZAHEDIFAR M,et al.Effects of dietary substitution of maize silage by amaranth silage on feed intake,digestibility,microbial nitrogen,blood parameters,milk production and nitrogen retention in lactating Holstein cows[J].Animal Feed Science and Technology,2015,202:32–41.

[2] 刘洋,晁洪雨,王自然.杞柳条生皮替代苜蓿对奶牛泌乳性能的影响[J].畜牧与兽医,2015,47(2):153–155.

[3] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:56–56,67–78.

[4] BRODERICK G A,KANG J H.Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media[J].Journal of Dairy Science,1980,63(1):64–75.

[5] ERWIN E S,MARCO G J,EMERY E M.Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography[J].Journal of Dairy Science,1961,44(9):1768–1771.

[6] ZHONG R Z,LI J G,GAO Y X,et al.Effects of substitution of different levels of steam-flaked corn for finely ground corn on lactation and digestion in early lactation dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2008,91(10):3931–3937.

[7] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004:138–141,218–229,337–340.

[8] MERTENS D R.Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1997,80(7):1463–1481.

[9] 邬彩霞,陈国宏,赵国琦.TMR 中苜蓿干草长度对奶牛瘤胃发酵的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(5):58–61.

[10] BEAUCHEMIN K A,YANG W Z,RODE L M.Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets[J].Journal of Animal Science,2001,79(7):1925–1936.

[11] BEAUCHEMIN K A,YANG W Z,RODE L M.Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity,ruminal fermentation,and milk production[J].Journal of Dairy Science,2003,86(2):630–643.

[12] 李洋.湿玉米纤维饲料对奶牛瘤胃代谢特性和血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2014.

[13] 杨宏波,刘红,占今舜,等.不同精粗比颗粒饲料对断奶公犊牛瘤胃发酵参数和微生物的影响[J].草业学报,2015,24(12):131–138.

[14] BRUNETTE T,BAURHOO B,MUSTAFA A F.Replacing corn silage with different forage millet silage cultivars:effects on milk yield,nutrient digestion,and ruminal fermentation of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2014,97(10):6440–6449.

[15] 周汉林,莫放,李琼,等.日粮中性洗涤纤维水平对生长公牛碳水化合物和蛋白质消化代谢的影响[J].家畜生态学报,2006,27(3):59–64.

[16] 夏科,王志博,郗伟斌,等.粗饲料组合对奶牛饲粮养分消化率、能量和氮的利用的影响[J].动物营养学报,2012,24(4):681–688.

[17] 李亚奎,褚海义,刘贵河,等.饲粮中添加不同比例苜蓿干草对泌乳中期奶牛生产性能的影响[J].饲料研究,2015(17):36–39.

[18] 李喜艳,王加启,魏宏阳,等.反刍动物乳腺氨基酸的吸收与代谢[J].中国奶牛,2011(2):11–14.

[19] STAPLES C R.Milk fat depression in dairy cows-influence of supplemental fats[C]//Florida ruminant nutritional symposium,[S.l.]:[s.n.]2006.

[20] 刘国文,李心慰,李小兵,等.奶牛生产疾病的早期诊断及群体监测[J].中国兽医学报,2014,34(9):1544–1550.

[21] 史仁煌,董双钊,付瑶,等.饲粮中性洗涤纤维水平对泌乳高峰期奶牛生产性能、营养物质表观消化率及血清指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(8):2414–2422

[22] REYNOLDS C K.Production and metabolic effects of site of starch digestion in dairy cattle[J].Animal Feed Science and Technology,2006,130(1/2):78–94.

[23] 文静,卜登攀,孙鹏,等.不同日粮模式对奶牛血液及瘤胃液中主要代谢激素的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2013(9):10–14.

[24] 韩英东,杨亮,潘晓花,等.胎次和泌乳阶段对荷斯坦奶牛血液乳成分前体物及泌乳相关激素含量的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1135–1144.

[25] LEPAGE O,TOTTMAR O,WINBERG S.Elevated dietary intake of *L*-tryptophan counteracts the stress-induced elevation of plasma cortisol in rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*)[J].The Journal of Experimental Biology,2002,205(23):3679–3687.

[26] 范铤.日粮中 NDF 水平及粗饲料 NDF 降解率对奶牛采食量及生产性能的影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.

[27] 马健,刘艳芳,王雅晶,等.饲粮中添加禾王草对泌乳奶牛瘤胃发酵和生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(11):3429–3437.

[28] 李玲,赵秀芬,赵钢.青贮处理对饲料蛋白质组分的影响[J].中国草地学报,2010,32(6):110–112.

[29] WRIGHT T C,MOSCARDINI S,LUIMES P H,et al.Effects of rumen-undegradable protein and feed intake on nitrogen balance and milk protein production in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1998,81(3):784–793.

[30] 姚庆,辛杭书,王明君,等.酒精清液发酵玉米秸秆替代全株玉米青贮对奶牛生产性能的

影响[J].动物营养学报,2012,24(11):2230–2236.

[31] MIGLIOR F,SEWALEM A,JAMROZIK J,et al.Analysis of milk urea nitrogen and lactose and their effect on longevity in canadian dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2006,89(12):4886–4894.

Effects of Dietary Supplementation of *Amaranthus hypochondriacus* L. on Ruminal Fermentation, Blood Indicators and Performance of Dairy Cows

SUN Guoqing[1,2] MA Jian[1*] DU Wen[2] WANG Yajing[2] CAO Zhijun[2] LI Shengli[2**] YU Xiong[1**] WANG Yu[3] LEI Xiaoying[4] MA Yabin[5]

（1. *College of Animal Science and Technology*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*; 3. *Zhongfu Huibang Animal Husbandry Co., Ltd.*, *Beijing* 102200, *China;* 4. *Hebei Jinzhou Zhoujiazhuang Agriculture and Animal Husbandry Co*., *Ltd.*, *Shijiazhuang* 052262, *China*; 5. *Hebei Livestock Breeding Station*, *Shijiazhuang* 050061, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary supplementations of *Amaranthus hypochondriacus* L. silage and *Amaranthus hypochondriacus* L. hay on ruminal fermentation, nutrient apparent digestibility, blood indicators and performance of dairy cows. Forty-five Holstein dairy cows with similar milk yield, parity and days in milk were randomly assigned into 3 experimental groups with 15 cows in each group. Roughages in control group were whole corn silage, Chinese wildrye and alfalfa hay, 30% corn silage in trial group Ⅰ was substitute with *Amaranthus hypochondriacus* L. silage, and 30% alfalfa hay in trial group Ⅱ was substitute with *Amaranthus hypochondriacus* L. hay. Nutrient levels of the three diets were close. The pre-trial lasted for 10 days, and the trial lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) compared with control group, the apparent digestibility of crude protein, the content of ammonia nitrogen in rumen fluid and total amino acid in blood in trial group Ⅰ were significantly increased (P<0.05), and there were no significant differences in the other nutrient digestibility,

*Contributed equally

**Corresponding author: LI Shengli, professor, E-mail: lisheng0677@163.com; YU Xiong, professor, E-mail: yuxiong8763601@126.com (责任编辑　王智航)

blood indicators and milk composition ($P>0.05$). 2) Compared with control group, the content of total AA in blood in trial group Ⅱ was significantly increased ($P<0.05$), and there were no significant differences in the other blood indicators, ruminal fermentation indicators, nutrient digestibility and milk composition ($P>0.05$). It is concluded that dietary supplementation of *Amaranthus hypochondriacus* L. at proper level can bring in better economic benefit without influencing cows' performance.

Key words: *Amaranthus hypochondriacus* L.; Holstein dairy cows; ruminal fermentation; blood indicators; performance